บทที่ 2

ยูเรเนียม

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

2.1 ยูเรเนียม

ยูเรเนียมเป็นธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ นักเคมีชาวเยอรมันชื่อ มาร์ติน เฮนริช คลาพรอธ (Martin Heinrich Klaproth) เป็นผู้ค้นพบในปี ค.ศ. 1789

แร่ยูเรเนียมในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป คือ U^{238} ซึ่งเป็นไอโซโทปหลัก มีอยู่ถึง 99.276%, U^{235} มีอยู่ 0.718 % และ U^{234} มีอยู่ 0.0056 % U^{238} และ U^{235} จะเป็นตัวต้นของอนุกรมยูเรเนียมและอนุกรมแอคทิเนียมซึ่งเป็นสองในสามอนุกรมทั้งหมดที่แผ่รังสีตามธรรมชาติ

จากการสำรวจในทางธรณีวิทยาพบว่า ที่ระดับใต้พื้นดินลงไปประมาณ 12 ไมล์ จะมีสินแร่ยูเรเนียมผสมอยู่โดยทั่วไป คิดเป็นน้ำหนักทั้งหมดแล้วประมาณ 100 ล้าน ๆ ตัน (10^{14} ตัน) แต่มีส่วนผสมในอัตราที่ต่ำมากประมาณ 0.001 % หรือน้อยกว่า สำหรับที่ผิวโลก ส่วนผสมของยูเรเนียมมีประมาณ 0.0004 % ที่พบว่ามีส่วนผสมของยูเรเนียมในอัตราสูง คือ ที่แคว้นคาตังกาในประเทศคองโก และที่ประเทศคานาดา จากแร่ที่ขุดได้จะมียูเรเนียมอยู่ถึงประมาณ 1 – 4 % นอกนั้นเป็นดินทรายหินและแร่อื่น ๆ ส่วนที่มีอัตราส่วนผสมปานกลางมีอยู่หลายแห่ง เช่น ในประเทศอเมริกา คานาดา ออสเตรเลีย และยังพบว่ามียูเรเนียมอีกมากมายในน้ำทะเล แต่มีจำนวนเข้มข้นน้อยมากประมาณ 1 – 2 ส่วนในน้ำ 10^9 ส่วน

ในพวกแร่ตระกูลยูเรเนียม แบ่งเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

1 <u>แร่ยูเรเนียมปฐมภูมิ</u> เป็นแร่ยูเรเนียมที่ขึ้นมาพร้อมกับหินอัคนีที่อยู่ในสภาพหลอมเหลว เมื่อเย็นตัวลงจะเป็นสายแร่ มี 2 พวก คือ

ก แร่พิทช์เบลนด์และยูเรนิไนท์

แร่พิทช์เบลนด์ (Pitchblende) มียูเรเนียมออกไซด์ประมาณ 50 – 80 % เป็นแร่ที่เกิดอย่างอสัณฐาน (Amorphous) ไม่มีทรงผลึก มีสีเทาแก่หรือดำ หรือดำแกมเขียว มักเกิดในสายแร่ที่มีกำมะถันประกอบอยู่

แร่ยูเรนิไนท์ (Uraninite) มียูเรเนียมออกไซด์สูงกว่าในพิทช์เบลนด์เล็กน้อย

แร่นี้เกิดเป็นผลึกเห็นได้ชัด มีผิวเนื้อวาวคล้ายโลหะ ไม่ค่อยพบเกิดร่วมกับแร่พิทช์เบลนด์ ลักษณะที่เกิดส่วนใหญ่อยู่ในสายหินเปกมาไทท์ (Pegmatite)

ข แร่ชนิดที่เกิดอยู่กับแร่ตระกูลคอมเพล็กซ์ออกไซด์ หรือมัลติออกไซด์ของธาตุโคลัมเบียม (Cb) [เป็นชื่อเดิมของนีโอเบียม (Nb)], แทนตาลัม(Ta) และทิตาเนียม(Ti) แร่ตระกูลนี้มีหลายชนิด มียูเรเนียมปะปนอยู่เป็นจำนวนที่น่าสนใจ ปกติแร่เหล่านี้มักเกิดในสายหินเปกมาไทท์

2 แร่ยูเรเนียมทุติยภูมิ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจากแร่ยูเรเนียมปฐมภูมิ โดยการผุพังตามธรรมชาติตามวิธีเคมีหรือฟิสิคส์หรือทั้งสองอย่าง อาจเกิดที่ที่เดิม หรือย้ายไปสะสมในที่ใกล ๆ พวกนี้มีเปอร์เซ็นต์ของยูเรเนียมออกไซด์ต่ำกว่าแร่พิทช์เบลนด์ มักเป็นผงละเอียด บางครั้งจับผลึกเป็นก้อนเล็ก ๆ บางทีจับกันเป็นแผนบาง ๆ ซ้อน ๆ กันจนหนา บางทีเกิดแทรกอยู่ในซอกหิน หรือเคลือบเศษหิน กรวด และทราย

สำหรับในประเทศไทยพบว่าแร่ยูเรเนียมมักเกิดรวมอยู่กับแร่ตระกูลโคลัมเบียม–แทนตาลัม และทิตาเนียม พบเมื่อครั้งแรกใน พ.ศ. 2496 ที่เหมืองเรือขุดกำมุนดิงหินจำกัด จังหวัดพังงา มีแร่ยูเรไนท์, โคลัมไบท์ และโมนาไซท์ หลังจากนั้นได้ตรวจพบแร่ยูเรเนียมตามเหมืองต่าง ๆ ในจังหวัดระนอง ตะกั่วป่า พังงาและภูเก็ต เช่น พบทอร์เบอร์ไนท์ ที่บริเวณเหมืองแร่ดีบุกของบริษัทยิบอินซอย ตำบลนาม่วง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นต้น

ในปัจจุบัน ยูเรเนียมมีความสำคัญมากในด้านใช้เป็นเชื้อเพลิงปรมาณู เชื้อเพลิงปรมาณูที่ใช้กันอยู่แพร่หลายในเวลานี้ คือ U^{233}, U^{235} และ Pu^{239} Pu^{239} ได้จากปฏิกริยาทางนิวเคลียร์ระหว่าง U^{238} กับนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูดังสมการ

$$U^{238}(n,\gamma)\, U^{239} \xrightarrow[23.5\text{min.}]{\beta^-} Np^{239} \xrightarrow[2.35\text{d}]{\beta^-} Pu^{239}$$

2.2 โคลัมไบท์

สินแร่โคลัมไบท์ เป็นคอมเพล็กซ์นีโอเบท (complex niobate) ของเหล็กและแมงกานีส มีสูตรทางเคมีเป็น $(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$ โดยมีนีโอเบียมเป็นส่วนผสมที่สำคัญ และนีโอเบียมจะเกิดรวมอยู่กับแทนตาลัมเสมอ ถ้ามีนีโอเบียมมากกว่าแทนตาลัม จะเรียกว่าโคลัมไบท์ (columbite) แต่ถ้ามีแทนตาลัมมากกว่าก็เรียกว่าแทนตาไลท์ (tantalite) และมักจะมีดีบุกกับพลวงรวมอยู่ด้วยเสมอ

สำหรับตัวอย่างแร่โคลัมไบท์ที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณยูเรเนียมในครั้งนี้มีทั้งหมด 7 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างมีหมายเลขกำกับไว้ ดังนี้

ตัวอย่างแร่โคลัมไบท์		หมายเลข	8
"	"	"	9
"	"	"	10
"	"	"	11
"	"	"	12
"	"	"	13
"	"	"	14

ตัวอย่างแร่ทั้ง 7 นี้ เป็นของกรมทรัพยากรธรณีที่ให้กองฟิสิคส์ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติไว้เพื่อศึกษาในงานด้านวิเคราะห์แร่ เป็นตัวอย่างแร่ที่เก็บมาจากเหมืองในจังหวัดพังงา และภูเก็ต มีสีเทาค่อนข้างดำ ได้ขอแบ่งตัวอย่างแร่ทั้ง 7 นี้มาศึกษาหาปริมาณยูเรเนียมโดยวิธีนิวเคลียร์บางวิธี ซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีการอย่างละเอียดต่อไปในบทที่ 3

2.3 อนุกรมยูเรเนียม

สารกัมมันตรังสีในธรรมชาติ จะแผ่รังสีแกมมา เบตา และอัลฟา ออกมาอยู่ตลอดเวลา การแผ่กัมมันตภาพรังสีนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไป และได้มีการรวบรวมเป็นอนุกรมกัมมันตรังสีทั้งหมด 3 อนุกรม คือ

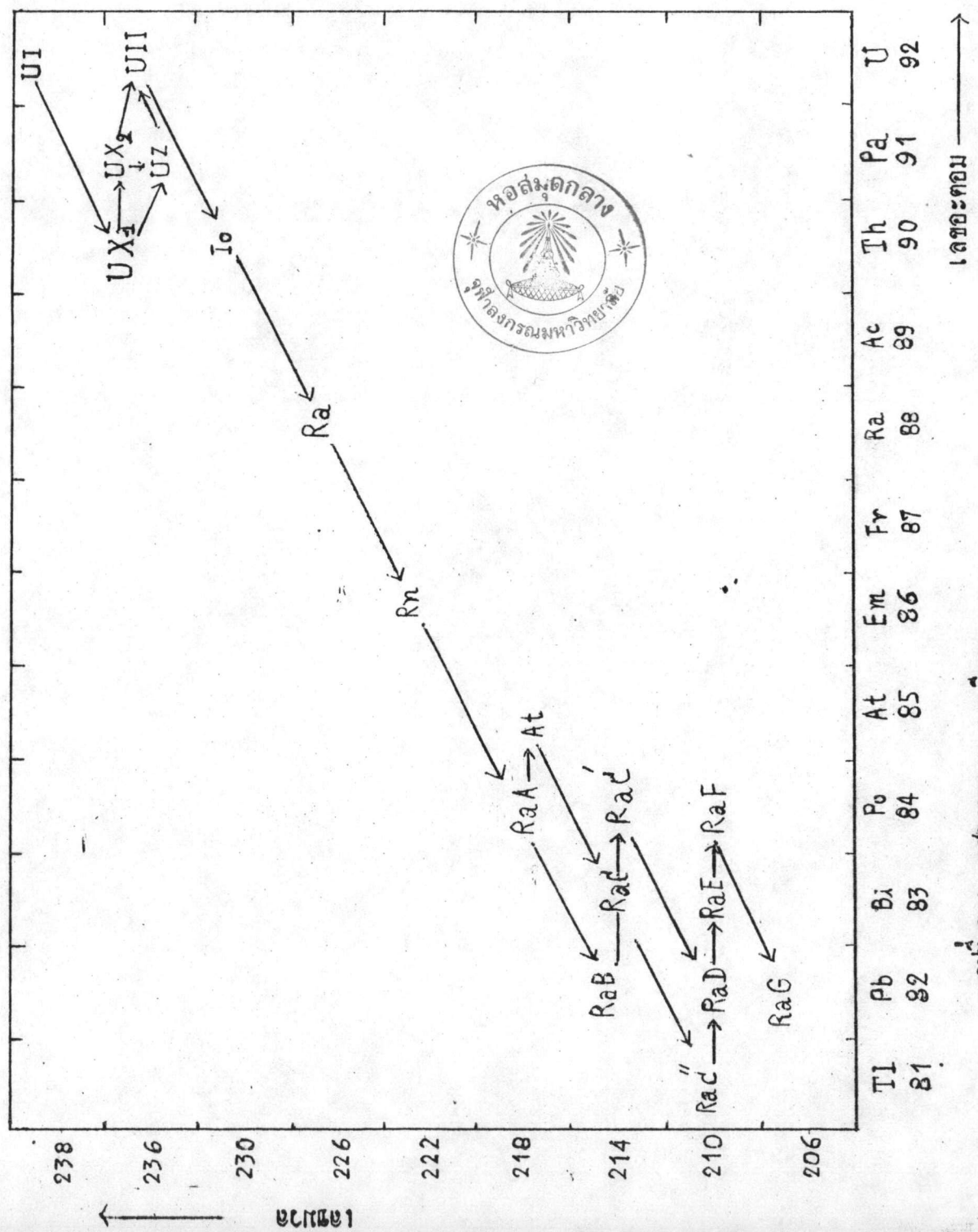
1 อนุกรมยูเรเนียม

2 อนุกรมแอคทิเนียม

3 อนุกรมธอเรียม

ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะอนุกรมยูเรเนียม ดังแสดงในตารางที่ 2-1 และรูปที่ 2-1 ในอนุกรมนี้มี $_{92}U^{238}$ เป็นตัวต้นอนุกรม และมี $_{82}Pb^{206}$ เป็นตัวสุดท้ายของอนุกรม โดย Pb-206 เป็นไอโซโทปที่คงตัว ไม่มีการสลายตัวต่อ ส่วนนิวเคลียสตัวอื่น ๆ ในอนุกรมจะไม่คงตัว มีการเกิดและการสลายตัวอยู่ตลอดเวลา ในการสลายตัวไปเป็นไอโซโทปของธาตุใหม่นั้น จะมีการ

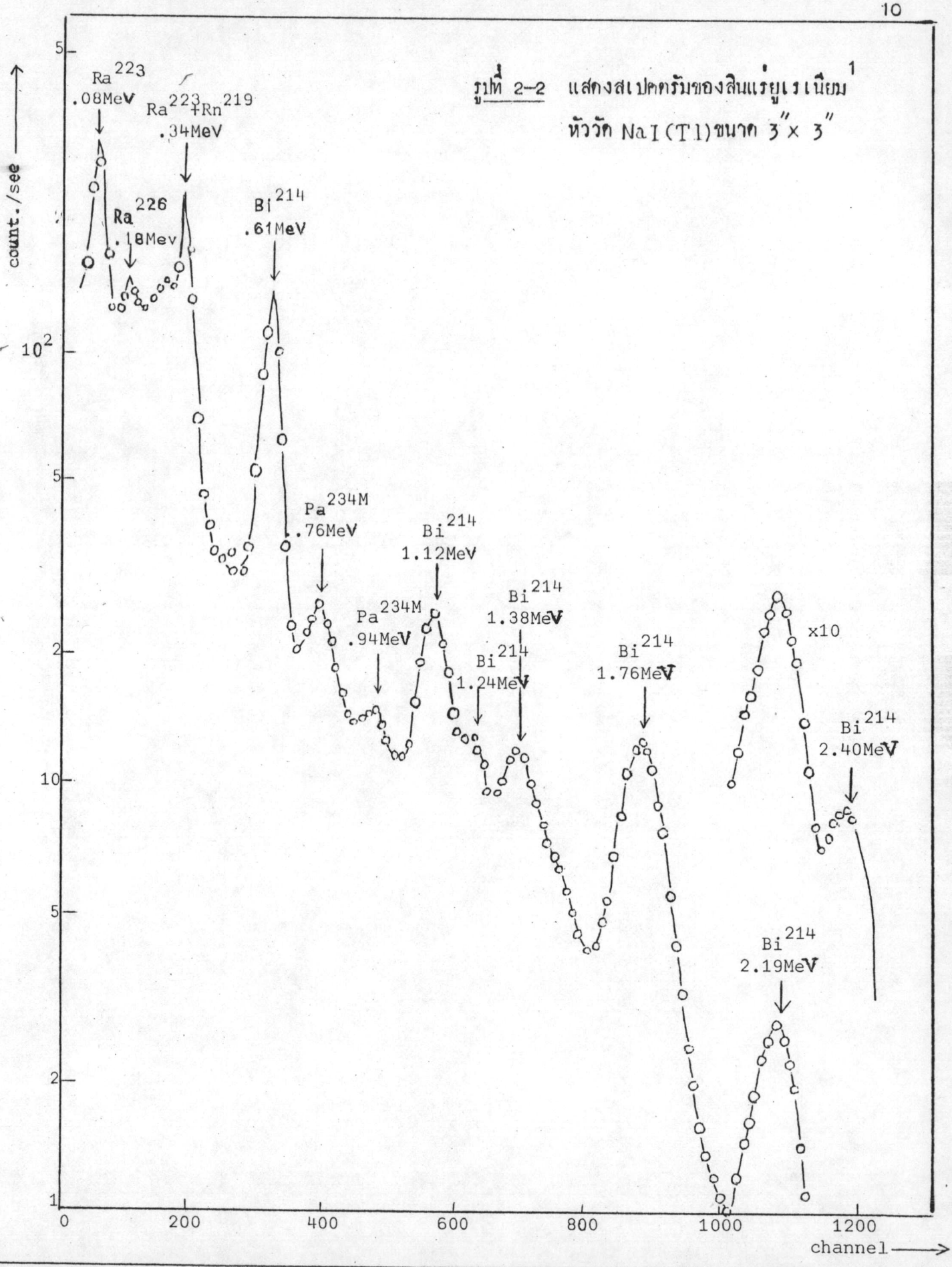
ปล่อยรังสีแกมมา อนุภาคเบตาและอัลฟา ถ้าปล่อยอนุภาคเบตาก็จะทำให้นิวเคลียสของธาตุใหม่มีเลขอะตอมเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งโดยเลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าปล่อยอนุภาคอัลฟา ก็จะทำให้นิวเคลียสใหม่มีเลขอะตอมและเลขมวลน้อยลงสองและสี่ตามลำดับ และบางตัวก็สลายตัวโดยให้ทั้งอัลฟาและเบตาพร้อมกัน



รูปที่ 2-1 แสดงอนุกรมยูเรเนียม

Radioactive species	Nuclide	Type of disintegration	Half-life	Disintegration constant (sec^{-1})	Particle energy (MeV)
Uranium I (UI)	$_{92}U^{238}$	γ , α	4.50×10^{9}y	4.88×10^{-18}	4.20
Uranium X_1 (UX_1)	$_{90}Th^{234}$	γ , β	24.1d	3.33×10^{-7}	0.91
Uranium X_2 (UX_2)	$_{91}Pa^{234}$	γ , β	1.18m	9.77×10^{-3}	2.32
Uranium Z (UZ)	$_{91}Pa^{234}$	γ , β	6.7h	2.88×10^{-5}	1.13
Uranium II (UII)	$_{92}U^{234}$	γ , α	2.50×10^{5}y	8.80×10^{-14}	4.768
Ionium (I_0)	$_{90}Th^{230}$	γ , α	8.0×10^{4}y	2.75×10^{-13}	4.68m
Radium (Ra)	$_{88}Ra^{226}$	γ , α	1620y	1.36×10^{-11}	4.777m
Ra Emanation (Rn)	$_{86}Em^{222}$	γ , α	3.82y	2.10×10^{-6}	5.486
Radium A (RaA)	$_{84}Po^{218}$	γ , β	3.05m	3.78×10^{-3}	:5.998
Radium B (RaB)	$_{82}Pb^{214}$	γ , β	26.8m	4.31×10^{-4}	0.7
Astatine-128(At^{218})	$_{85}At^{218}$	γ , α	1.5-2.0s	0.4	6.63
Radium C (RaC)	$_{83}Bi^{214}$	γ, α, β	19.7m	5.86×10^{-4}	5.51m
Radium C (RaC′)	$_{84}Po^{214}$	γ , α	1.64×10^{-4}s	4.23×10^{3}	7.683
Radium C (RaC″)	$_{81}Tl^{210}$	γ , β	1.32m	8.75×10^{-4}	1.9
Radium D (RaD)	$_{82}Pb^{210}$	γ , β	19.4y	1.13×10^{-9}	0.017
Radium E (RaE)	$_{83}Bi^{210}$	γ , β	5.0d	1.60×10^{-6}	1.155
Radium F (RaF)	$_{84}Po^{210}$	γ , α	138.3d	5.80×10^{-8}	5.30
Thallium-206 (Tl^{206})	$_{81}Tl^{206}$	γ , β	4.2m	2.75×10^{-3}	1.51
Radium G (RaG)	$_{82}Pb^{206}$	stable			

ตารางที่ 2-1 แสดงธาตุต่าง ๆ ในอนุกรมยูเรเนียม พร้อมทั้งชนิดของรังสีที่ให้ออกมาเมื่อมีการสลายตัว, ค่าครึ่งชีวิต, ค่าคงที่ในการสลายตัว และค่าพลังงานมากที่สุดของรังสีที่ปล่อยออกมา



รูปที่ 2-2 แสดงสเปคตรัมของสินแร่ยูเรเนียม[1] หัววัด NaI(Tl) ขนาด 3" x 3"

[1] Heath,R.L. Scintillation Spectrometry Gamma-Ray Spectrum Catalogue

2.4 กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

ในการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี จะไม่ขึ้นกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอกนิวเคลียส แต่จะเป็นไปตามหลักสถิติที่เกี่ยวกับโอกาส กล่าวคือ ถ้ามีสารกัมมันตรังสีอยู่จำนวนหนึ่ง จะไม่สามารถบอกได้ว่านิวเคลียสตัวไหนในสารนี้จะสลายตัวก่อนหรือหลัง คือกล่าวได้ว่า ทุกนิวเคลียสมีโอกาสที่จะสลายตัวในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้เท่ากัน

ให้ N = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ เวลาใด ๆ

$\frac{dN}{dt}$ = อัตราการสลายตัวของนิวเคลียสแม่ หรืออัตราการเกิดของนิวเคลียสลูก

$$\therefore \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

โดย λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว

ที่ $t = 0, N = N_0$ จะได้

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (2-2)$$

ให้ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสี = $T_{\frac{1}{2}}$ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สารแม่ (parent) จะสลายตัวเหลือครึ่งหนึ่งของที่มีอยู่เดิม คือ $N = N_0/2$

จาก (2-2) จะได้ $T_{\frac{1}{2}} = 0.693/\lambda \qquad (2-3)$

ในอนุกรมของสารกัมมันตรังสี การสลายตัวของสารต่าง ๆ เกิดต่อเนื่องกันไป จะเขียนสมการการสลายตัวได้ดังนี้

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3$$

$$\vdots$$

$$\frac{dN_n}{dt} = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n \qquad (2-4)$$